



Bericht Teil 2

Report

Sonnenschutzmittel für die Haut

M.Weber, K.Schulmeister

1 Inhaltsangabe

1	INHALTSANGABE.....	2
2	EINLEITUNG.....	3
3	WIRKUNGSWEISE VON SONNENSCHUTZMITTEL.....	4
4	BEURTEILUNG DER SCHUTZWIRKUNG VON SONNENSCHUTZMITTEL..	7
4.1	Lichtschutzfaktor (LSF).....	7
4.2	Normative Aspekte zur Bestimmung des Lichtschutzfaktors.....	10
4.3	UV-A Schutzfaktoren.....	11
4.4	Normative Aspekte zur Bestimmung des UV-A – Schutzfaktors.....	13
4.5	Kritische Wellenlänge.....	13
5	ARTEN UND ZUSAMMENSETZUNG VON SONNENSCHUTZMITTELN.....	14
5.1	Chemische UV-Filter.....	15
5.2	Physikalische UV-Filter.....	17
5.3	Neue Inhaltsstoffe.....	18
6	MÖGLICHE NEBENWIRKUNGEN VON SONNENSCHUTZMITTEL.....	19
7	OBERFLÄCHLICHE SONNENSCHUTZMITTEL UND HAUTKREBS.....	20
8	ZULASSUNG VON SONNENSCHUTZMITTELN IN EUROPA UND WEITERE PRÜFVERFAHREN.....	21
9	PRAKTISCHE ANWENDUNG VON SONNENSCHUTZMITTEL.....	23
10	LITERATURVERZEICHNIS.....	25

2 Einleitung

Um die Haut vor UV-induzierten Schäden der Sonnenstrahlung zu schützen, sollten folgende drei „Verteidigungslinien“ gegen solares UV in der aufgelisteten Reihenfolge zur Anwendung kommen:

- 1) Die direkte Sonne meiden und Schatten aufsuchen.
- 2) Die Haut mit Bekleidungstextilien, die einen entsprechend hohen UV-Schutz bieten (UPF \geq 30), schützen.
- 3) Unbedeckte Haut durch Verwendung von Sonnenschutzmittel vor solarer UV-Strahlung schützen.

Da bei Arbeiten im Freien Punkt 1) nicht immer realisiert werden kann und auch nicht alle Körperpartien (z. B. Gesicht, Ohren, Hände) mit Textilien bedeckt werden können, spielen Sonnenschutzmittel beim Schutz vor solarer UV-Strahlung eine wichtige Rolle.

Das erste kommerzielle Sonnenschutzmittel wurde im Jahr 1928 in den USA auf den Markt gebracht [1] und verfügte nur über zwei organische Inhaltsstoffe zum Schutz vor solarer UV-Strahlung. Sonnenschutzmittel dienten bis vor kurzem eigentlich nur dazu, den wohl bekanntesten akuten Effekt der UV-Strahlung auf die Haut, den Sonnenbrand (UV-Erythem), zu verhindern. Da für den Sonnenbrand hauptsächlich die kurzwellige UV-B - Strahlung verantwortlich ist, waren Sonnenschutzmittel der „älteren Generation“ lediglich mit organischen UV-B Filtern ausgestattet. Es gibt neben dem Sonnenbrand jedoch noch eine Vielzahl an weiteren UV-induzierten akuten Hautschäden und gesundheitlichen Effekten (z. B. Immunsuppression) bzw. auch Langzeiteffekte (z. B. Hautkrebs, vorzeitige Hautalterung), bei denen auch der Beitrag durch die langwellige UV-A – Strahlung nicht vernachlässigt werden darf. Moderne Sonnenschutzmittel für die Haut verfügen deshalb zumindest über einen sogenannten Breitbandfilter, wobei durch organische bzw. physikalische Inhaltsstoffe sowohl UV-B als auch UV-A absorbiert bzw. reflektiert wird.

Bei Sonnenschutzmittel sollte für die Verwendung in der Praxis aber nicht nur auf deren „optischen“ Eigenschaften (Absorption, Reflexion und Streuung von UV) geachtet werden, sondern auch andere Faktoren wie Photostabilität, Photoallergie, Wasser- und Schweißresistenz, Irritation der Augen, einfaches Applizieren und subjektive „Wohlfühlfaktoren“ eines Sonnenschutzmittels sollten Berücksichtigung finden.

Sonnenschutzmittel sind mittlerweile zu „High Tech“ - Produkten mutiert und können aus bis zu 25 unterschiedlichen Inhaltsstoffen bestehen. Manche Sonnenschutzmittel beinhalten bereits auch Filter gegen Infrarot-Strahlung, der teilweise eine verstärkende Wirkung in Kombination mit UV beim Auftreten bestimmter Hautschäden zugeschrieben wird, Reparatur-Enzyme, die die Reparatur der durch UV geschädigten DNA beschleunigen soll, sowie Antioxidantien um oxidativen Streß der Hautzellen durch freie Radikale zu vermindern [2].

Der vorliegende Report „Sonnenschutzmittel für die Haut“ soll die komplexe Thematik der modernen Sonnenschutzmittel in kompakter Form zusammenfassen und dem interessierten Leser Wissenswertes über Funktionsweise, Eigenschaften, Schutzwirkung, normative Grundlagen, Prüfverfahren und praktische Tips zur fachgerechten Anwendung von Sonnenschutzmittel näher bringen.

3 Wirkungsweise von Sonnenschutzmittel

Die Wirkungsweise von oberflächlichen Sonnenschutzmittel besteht darin, das Eindringen solarer UV-Strahlung in die tieferen Schichten der Epidermis (Oberhaut), wie etwa der Basalschicht zu vermindern und eine Schädigung der dort befindlichen Hautzellen (z. B. Keratinozyten und Melanozyten) zu verhindern oder zu minimieren (siehe Abb. 1).

In der Basalschicht findet die Zellgewinnung (Mitose) der Keratinozyten statt [3], eine Schädigung der DNA (Träger der Erbinformation) dieser Zellen durch UV-Strahlung kann weitreichende Konsequenzen (Kanzergenität) haben. UV-Strahlung (hauptsächlich UV-B Strahlung) wird von der DNA absorbiert und schädigt diese unter anderem in Form von Doppelstrang- bzw. Einzelstrangbrüchen und der Bildung von CPDs (Cyclobutan-Bipyrimidindimere). Während die kurzwellige UV-B – Strahlung meist zu einer direkten Schädigung der DNA führt, verläuft die UV-A induzierte Schädigung der DNA meist auf indirektem Weg über die Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) wie z.B. Hydroxyl-Radikalen oder Singlet-Sauerstoff. Die Schädigung der DNA der Hautzellen ist nicht nur Ausgangspunkt für Langzeiteffekte wie Hautkrebs oder vorzeitiger Hautalterung sondern auch für akute UV-Schäden wie dem Sonnenbrand.

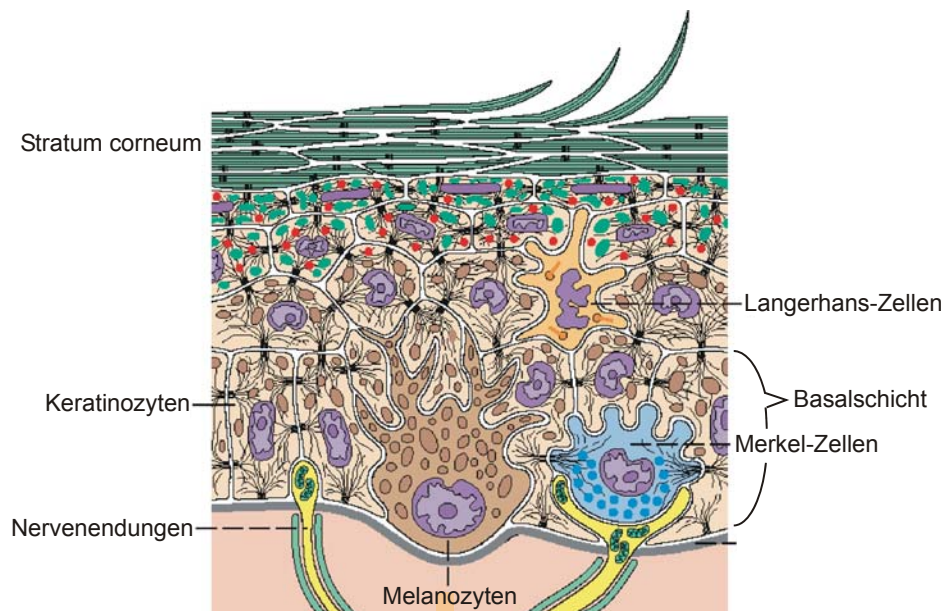


Abbildung 1. Querschnitt durch die menschliche Epidermis (Oberhaut)

Hingewiesen sei auch noch auf die unterschiedlichen Eindringtiefen der UV-A - bzw. UV-B – Strahlung. Während UV-B bereits vollständig in der Epidermis absorbiert wird, kann die längerwellige UV-A – Strahlung bis in die Dermis eindringen.

Die Abschwächung der schädlichen Wirkung solarer UV-Strahlung durch moderne Sonnenschutzmittel erfolgt gemäß folgenden fünf biophysikalischen Prinzipien [4]:

- 1) **Absorption und Filterung** der UV-Strahlung an der Oberfläche des stratum corneum (Hornschicht). Die Hornschicht ist die äußerste Schicht der Epidermis und besteht aus abgestorbenen Hautzellen (siehe Abb. 1). Das auf der Hornschicht aufgetragene Sonnenschutzmittel läßt, je nach verwendetem Schutzfaktor, nur einen Bruchteil der auf die Haut auftreffenden UV-Strahlung in die tieferen Schichten der Epidermis durch. Für diesen Effekt können sowohl organische als auch physikalische Inhaltsstoffe von Sonnenschutzmittel verantwortlich sein (letztere allerdings nur bei entsprechend kleiner Partikelgröße).
- 2) **(Rück-)Streuung** der einfallenden UV-Strahlung.
- 3) **Reflexion** der UV-Strahlung durch physikalische Inhaltsstoffe wie Titandioxid oder Zinkoxid auf der Oberfläche des Stratum Corneums.
- 4) **Inaktivierung und Zerstörung von freien Radikalen** und reaktiven Photoprodukten (z. B. ROS) die durch Einwirkung von UV-Strahlung in der Haut entstehen. Dies wird durch Beigabe von Antioxidantien (z. B. Vitamin C und E) erreicht.
- 5) **Erhöhung der Reparaturrate** durch von UV-geschädigter DNA. Geschädigte DNA wird normalerweise erkannt und meist enzymatisch mittels Excisionsreparatur repariert. Ist der Schaden allerdings bereits zu groß, so stirbt die geschädigte Zelle ab. Durch Zugabe von Reparaturenzymen wie T4 endonuclease V können DNA-Schäden wie z. B. CPDs rascher repariert werden [2].

Nach dem Prinzip der Absorption können sowohl chemische als auch physikalische UV-Filter von Sonnenschutzmitteln die UV-Strahlung abschwächen. Eigentlich bestehen alle Sonnenschutzmittel aus chemischen Inhaltsstoffen. Unter chemischen Inhaltsstoffen versteht man dabei alle organischen Verbindungen, während alle anorganischen Inhaltsstoffe als „nicht-chemische“ bzw. „physikalische“ Inhaltsstoffe bezeichnet werden. Die Unterscheidung zwischen chemischen bzw. physikalischen UV-Filtern würde früher aufgrund ihrer unterschiedlichen Wirkungsmechanismen getroffen (chemische UV-Filter: absorbieren, physikalische Inhaltsstoffe: reflektieren bzw. streuen), Studien haben aber gezeigt, dass auch physikalische UV-Filter, je nach Partikelgröße, UV-Strahlung absorbieren können [5].

Chemische Absorber beinhalten normalerweise einen organischen Ring (Benzolring) mit einer konjugierten Carbonylgruppe (siehe Kapitel 5.1). Dieses konjugierte System (konjugierte Doppelbindungen) ermöglicht durch Delokalisierung von Elektronen die Absorption von UV-Photonen [6]. Dabei wird das Molekül D angeregt und geht vom Grundzustand in den angeregten Zustand D* über. Das Molekül bleibt nur kurz im

angeregten Zustand und kann bei seinem Rückfall die Energie auf unterschiedliche Arten abgeben (siehe Abb. 2). Erfolgt die Abgabe der Energie nicht in Form von Wärme, sondern in Form photochemischer bzw. photobiologischer Prozesse, so kann der aktive Inhaltsstoff den Organismus schädigen (z. B. phototoxische Reaktionen, Photoallergie, siehe Kapitel 6).

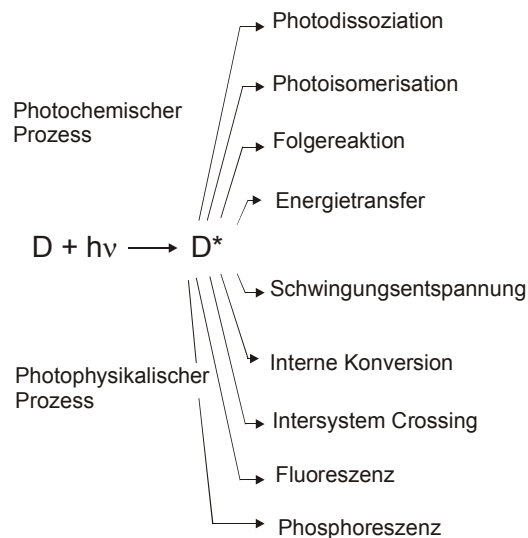


Abbildung 2. Möglichkeiten der dissipativen Prozesse für ein angeregtes Molekül.

Physikalische Sonnenschutzmittel wie Titandioxid (TiO_2) oder Zinkoxid (ZnO) können UV-Strahlung, je nach Partikelgröße reflektieren, streuen und absorbieren. Diese Inhaltsstoffe wurden früher oft aus kosmetischen Gründen nicht akzeptiert, da die damalige Partikelgröße von ca. 180 – 220 nm auch zur Reflexion von sichtbarem Licht führte (weiße Schicht auf Haut nach eincremen mit Sonnenschutzmittel). Heute verwendet man physikalische Sonnenschutzmittel in Partikelgrößen von 40 – 100 nm (Nanopartikeln). Für Partikel dieser Größe gilt im Bereich des sichtbaren Lichts die Rayleigh-Streuung, wodurch kürzere Wellenlängen wesentlich effektiver gestreut werden und die Reflexion von der Partikeloberfläche minimal ist. Im UV zeigen die physikalischen Sonnenschutzmittel „Halbleiter-Eigenschaften“: Sie absorbieren sämtliche Strahlung, deren Energie größer ist, als die Energiedifferenz des Bandabstandes zwischen Valenzband und leitendem Band. Bei TiO_2 sind die korrespondierenden Wellenlängen für den Bandabstand 387 nm und 405 nm, bei ZnO liegt die entsprechende korrespondierende Wellenlänge bei 384 nm [6].

Maßgebend für den UV-Schutz eines oberflächlich aufzutragenden Sonnenschutzmittels sind die Eigenschaften der aktiven chemischen bzw. physikalischen Inhaltsstoffe und nicht jene der Matrix bzw. des Bindemittels in der diese Inhaltsstoffe enthalten sind. Diese Inhaltsstoffe zeigen unterschiedliche Absorptionseigenschaften im UV-B bzw. UV-A. Eine fundamentale Größe zur Beschreibung des UV-Schutzes ist das Absorptionsspektrum dieser aktiven Inhaltsstoffe. Anhand des Absorptionsspektrums lässt sich erkennen, in welchem UV-Bereich ein Inhaltsstoff UV-Strahlung absorbiert bzw. in welcher Größenordnung die UV-Strahlung abgeschwächt wird. Der Extinktionskoeffizient gibt an, wie stark die Strahlung im terrestrischen UV-Bereich (290 nm – 400 nm) vom jeweiligen Inhaltsstoff abgeschwächt wird. In der Praxis wird

die Absorption bestimmt aus dem Produkt des Extinktionskoeffizienten, der Konzentration des jeweiligen Inhaltsstoffes sowie der aufgetragenen Schichtdicke des Sonnenschutzmittels [7]. Inhaltsstoffe mit einem geringen molaren Extinktionskoeffizienten schützen die Haut weniger effektiv als Inhaltsstoffe mit einem hohen molaren Extinktionskoeffizienten.

4 Beurteilung der Schutzwirkung von Sonnenschutzmittel

4.1 Lichtschutzfaktor (LSF)

Sonnenschutzmittel wurden ursprünglich entwickelt, um Sonnenbrände (UV-Erytheme) zu verhindern [8]. Zur Beurteilung der Schutzwirkung von Sonnenschutzmittel hinsichtlich des Schutzes vor Sonnenbränden, wurde der Lichtschutzfaktor eingeführt. Der LSF wird im deutschen Sprachraum, in Anlehnung an das entsprechende englische Wort, auch oft als SPF (Sunburn Protection Factor) bezeichnet.

Der LSF ist definiert als das Verhältnis der minimalen Erythemdosis der geschützten Haut MED_p zur minimalen Erythemdosis der geschützten Haut MED_u [9].

$$SPF = \frac{MED_p [Jm^{-2}]}{MED_u [Jm^{-2}]}$$

Umgangssprachlich wird der LSF oft auch als jener Faktor bezeichnet, um den sich die Aufenthaltsdauer t_p in der Sonne bei Verwendung des Sonnenschutzmittels bis zum Auftreten eines Sonnenbrandes verlängert im Vergleich zur Expositionsdauer ohne Sonnenschutzmittel t_u .

$$SPF = \frac{t_p}{t_u}$$

Unter der MED versteht man jene Bestrahlungsenergie, die erforderlich ist, die erste wahrnehmbare und klar abgegrenzte Rötungsreaktion 16 h bis 24 h nach UV-Bestrahlung auf dem bestrahlten Hautareal zu erzeugen. Die Bestimmung der MED bzw. des LSF in der Praxis ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die MED ist eine individuelle Größe und ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich. Die durchschnittlichen MED für die Hauttypen I – IV, gemäß der Einteilung der Hauttypen nach Fitzpatrick, ist in Tabelle 1 angeführt. Betont sei, dass es sich dabei um Durchschnittswerte handelt und die individuelle MED durchaus deutlich von den hier angegebenen variieren kann.

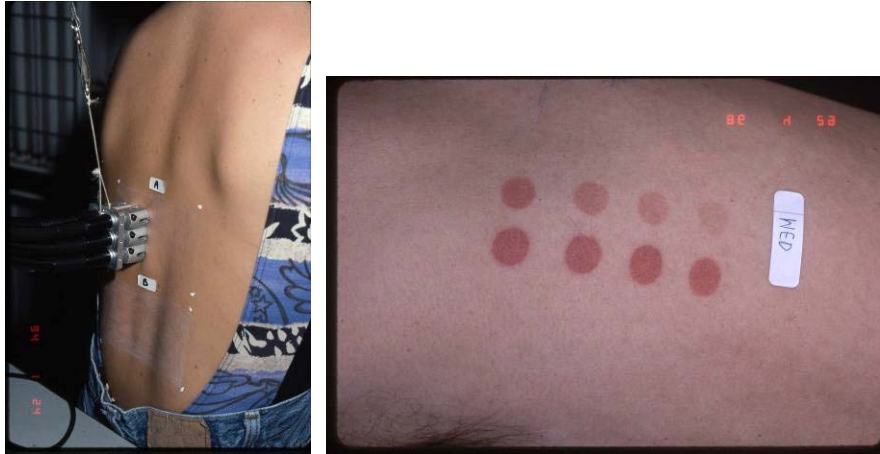


Abbildung 3. Praktische Bestimmung des LSF von Sonnenschutzmittel: Links: Bestrahlung des mit Sonnenschutzmittels eingecremten Rückens einer Probandin mit unterschiedlichen erythemalen UV-Dosen mittels Solarsimulator (Feld A: Referenz-Sonnenschutzmittel, Feld B: zu testendes Sonnenschutzmittel), Rechts: bestrahltes Hautareal nach der Bestrahlung. Die Dosis, die am oberen rechten Punkt appliziert wurde, kann als MED angesehen werden.
(Fotos mit freundlicher Genehmigung von J. P. Césarini)

Tabelle 1. Einteilung der Hauttypen nach der Reaktion auf Sonnenbestrahlung [10]

Hauttyp	Beschreibung	Hautreaktion	MED [J/m ²]
I	Keltischer Typ: sehr helle Haut, rötliche Haare	Immer schnell Sonnenbrand, kaum oder keine Bräunung auch nach wiederholten Bestrahlungen	200
II	Hellhäutiger Europäer: helle Haut, blonde Haare	Fast immer Sonnenbrand, mäßige Bräunung nach wiederholten Bestrahlungen	250
III	Dunkelhäutiger Europäer: hellbraune Haut, dunkelblonde Haare	mäßig oft Sonnenbrand, fortschreitende Bräunung nach wiederholten Bestrahlungen	350
IV	Mediterraner Typ: hellbraune bis oliv-färbige Haut, dunkelbraune Haare	selten Sonnenbrand, schnell einsetzende und deutliche Bräunung	450

In Europa wird der SPF seit 1994 nach der Norm des Dachverbandes der europäischen Kosmetikindustrie COLIPA (European Cosmetic Toiletry and Perfumery Association) ermittelt [11].

Gemäß der „International SPF Test Method 2006“ der COLIPA wird der SPF eines Sonnenschutzmittels direkt in vivo an Probanden bestimmt. Diese legt unter anderem fest

- Nach welchen Kriterien die Probanden ausgesucht werden (z.B. nur Hauttypen I – III, Anzahl der Probanden: zumindest 10)
- An welcher Körperposition die Bestrahlung durchzuführen ist (Rücken zwischen Schulterblatt und Taille auf ungebräunter Haut)
- Definition des qualitativen Outputs der UV-Quelle
- Welche Menge an Sonnenschutzmittel aufzutragen ist (2,00 mg cm⁻²)
- Wie die eigentliche Bestrahlung durchgeführt werden soll

Mit dem SPF lässt sich nur die Schutzwirkung eines Sonnenschutzmittels hinsichtlich der Vermeidung von Sonnenbrand beurteilen. Für die Entstehung eines UV-Erythems sind, gemäß biologischem Wirkungsspektrum für das UV-Erythem $s(\lambda)_{er}$ (siehe Abb. 4), vor allem Wellenlängen kleiner 298 nm besonders effektiv. Der SPF eines Sonnenschutzmittels sagt nur etwas hinsichtlich des Schutzes gegenüber UV-B – Strahlung aus, er erlaubt aber keine Beurteilung der Schutzwirkung gegenüber UV-A – Strahlung.

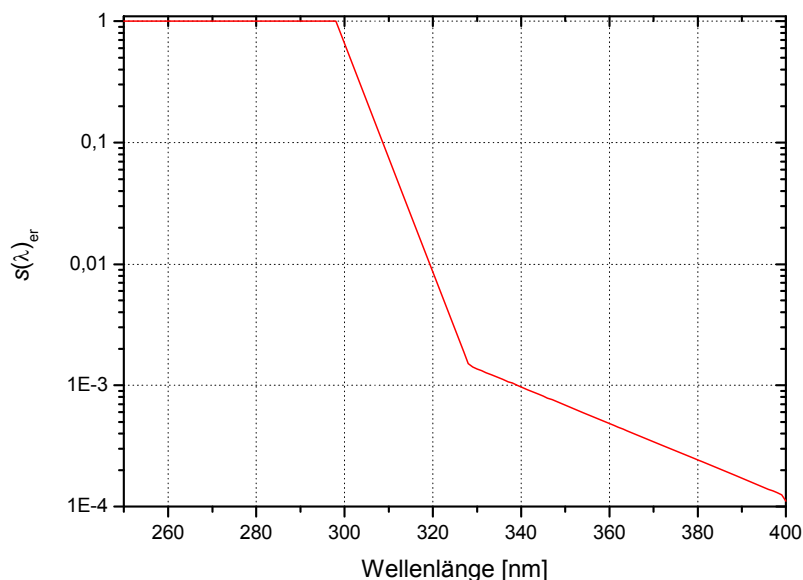


Abbildung 4. Biologisches Wirkungsspektrum $s(\lambda)_{er}$ für das UV-Erythem.

Ein SPF von 2 bedeutet, dass 50 % der einfallenden erythemwirksamen UV-Strahlung vom Sonnenschutzmittel absorbiert werden und sich damit die Eigenschutzzeit der Haut beim Tragen des Sonnenschutzmittels (vorausgesetzt man appliziert die richtige Menge von 2 mg cm^{-2} zur richtigen Zeit), im Vergleich zur Exposition ohne Sonnenschutzmittel, verdoppelt. Je höher der SPF eines Sonnenschutzmittels, desto besser schützt es vor UV-B. Sonnenschutzmittel mit einem SPF < 12 bieten zwar einen gewissen Schutz vor Sonnenbrand, allerdings schützen sie nicht effektiv vor anderen UV-induzierten Reaktionen (z.B. Schädigung der DNA, Schädigung von Proteinen) die sowohl durch UV-B als auch UV-A ausgelöst werden und einen Beitrag zur vorzeitigen Hautalterung bzw. Hautkrebsentstehung liefern. Derartige Sonnenschutzmittel sollten deshalb nicht von eher hellhäutigen Menschen (Hauttyp I – II) verwendet werden.

Für die praktische Verwendung in Mitteleuropa sollte die Verwendung eines Sonnenschutzmittels mit einem SPF von 30 ausreichend sein (bei gleichzeitigem Vorhandensein eines entsprechenden UV-A – Schutzes), da dabei bereits 96,7 % der einfallenden erythemwirksamen UV-Strahlung geblockt werden. Die UV-Schutzwirkung eines Sonnenschutzmittels erhöht sich bei einer weiteren Erhöhung des SPF nur minimal: Ein Sonnenschutzmittel mit einem SPF von 40 blockt 97,5 %, ein Sonnenschutzmittel mit einem SPF von 50 blockt 98 % der einfallenden erythemwirksamen UV-Strahlung ab. Betont sei, dass sich der SPF auf eine applizierte Menge von 2 mg cm^{-2} bezieht. In der Praxis wird aber meist wesentlich weniger Sonnenschutzmittel aufgetragen, so dass sich aufgrund der zu geringen

Applikation von Sonnenschutzmittel ein effektiver Schutzfaktor der nur $\frac{1}{3}$ des SPF beträgt, ergibt [37].

Um aus dem SPF den Prozentsatz an abgeblockter erythemwirksamer UV-Strahlung zu berechnen, kann man sich nachfolgender Formel bedienen:

$$\text{abgeblocktes erythemwirksames UV [\%]} = 100 - \frac{100}{\text{SPF}}$$

Die maximale Expositionsdauer mit Sonnenschutzmittel kann man bei Kenntnis des UV-Index (UVI) [12] und des Hauttyps (MED) berechnen.

Beispiel: Hauttyp I (MED = 200 J m^{-2}), Sonnenschutzmittel SPF = 12, UVI = 8 (typischer Wert für schönen Sommertag im Flachland in Österreich). Zur Berechnung der maximalen Expositionsdauer ist die Kenntnis folgender beiden Formeln notwendig:

$$\text{erythemwirksame Bestrahlungsstärke } E_{\text{er}} [\text{W m}^{-2}] = 0,025 [\text{W m}^{-2}] \times \text{UVI}$$

$$\text{MED} [\text{Jm}^{-2}] = E_{\text{er}} [\text{W m}^{-2}] \times t [\text{s}]$$

Die maximale Expositionsdauer berechnet sich dann gemäß

$$t [\text{s}] = \frac{\text{MED} [\text{Jm}^{-2}] \times \text{SPF}}{E_{\text{er}} [\text{W m}^{-2}]} = \frac{200 \times 12}{0,2} = 12000 \text{ s} = 200 \text{ min} = 3 \text{ h } 20 \text{ min}$$

4.2 Normative Aspekte zur Bestimmung des Lichtschutzfaktors

Die Bestimmung des LSF ist standardisiert, wird allerdings jedoch in unterschiedlichen Ländern nach verschiedenen Normen durchgeführt. Die wichtigsten Normen sind dabei:

- U.S. Food and Drug Administration (FDA): Sunscreen drug products for over-the-counter human use [13]
Bereits 1978 wurde die FDA-Methode in den USA eingeführt, lange bevor in Europa eigene Normen zur Bestimmung des SPF entwickelt wurden (DIN 67501, 1986). Mit der FDA-Methode konnten im Vergleich zur DIN 67501 wesentlich höhere LSF erreicht werden, da sich beide Methoden hinsichtlich der verwendeten Lichtquelle und der aufgetragenen Menge Sonnenschutz unterschieden [14]
- COLIPA, JCIA, CTFA, CTFA Südafrika, International Sun Protection Factor (SPF) Test Method, 2006
Die COLIPA ist der Dachverband der europäischen Kosmetikindustrie und hat erstmals 1994 eine Methode zur Bestimmung des SPF herausgegeben und in den Folgejahren ständig weiterentwickelt. Die COLIPA-Methode zur

Bestimmung des SPF wird von allen Sonnenkosmetik-Herstellern verwendet und ist deshalb zurzeit wohl die wichtigste Methode zur Bestimmung des SPF. Der aktuelle Standard aus dem Jahr 2006 wird auch von der Vereinigung der Japanischen, Südafrikanischen und U.S. Kosmetikindustrie mitgetragen, wodurch die Wichtigkeit dieser Methode unterstrichen wird. Auch die EU-Kommission [24] empfiehlt zur besseren Reproduzierbarkeit bzw. Vergleichbarkeit des SPF von Sonnenschutzmittel die Anwendung dieser Methode zur Bestimmung des SPF. Dieses Testverfahren wurde dem Europäischen Komitee für Normung zur Erarbeitung europäischer Normen in diesem Bereich vorgelegt.

- Deutsches Institut für Normung (DIN) 67501:1999, Experimentelle Bewertung des Erythemschutzes von externen Sonnenschutzmittel für die menschliche Haut [15]
Dieser bereits 1985 eingeführte Standard war der erste in Europa, der sich der Bestimmung des SPF von Sonnenschutzmittel gewidmet hat. Die aktuelle Ausgabe der DIN ist an die COLIPA SPF-Testmethode von 1994 angelehnt.
- Australian/New Zealand Standard AS/NZS 2604:1998, Sunscreen products – Evaluation and classification [16]
Dieser Standard findet zur Bestimmung des SPF in Australien und Neuseeland Anwendung.
- South African Bureau of Standards 1557:2002, Specifications Sunscreen products [17]
- ÖNORM S 1130:1999, Sonnenschutzmittel – Bestimmung des Lichtschutzfaktors im Labor [18]
Die Version aus dem Jahre 1999 dieser ÖNORM ist ident mit der COLIPA SPF-Testmethode von 1994, aber nicht ident mit der aktuellen COLIPA SPF-Testmethode 2006.

4.3 UV-A – Schutzfaktoren

Zur Bestimmung des UV-A – Schutzfaktors (UV-A – SF) eines oberflächlichen Sonnenschutzmittels stehen verschiedene In-vivo- und In-vitro – Methoden zur Verfügung. Bei den In-vivo-Methoden werden häufig die IPD (Immediate Pigment Darkening) – Methode oder die PPD (Persistent Pigment Darkening) – Methode verwendet. Dabei bedient man sich der Sofortpigmentierung, die durch UV-A – Strahlung hervorgerufen wird. International hat man sich noch nicht auf eine „ideale“ Prüfmethode geeinigt und es kann damit gerechnet werden, dass es hier in Zukunft noch zu Verbesserungen kommen wird. Die Europäische Kommission schlägt zur besseren Vergleichbarkeit der UV-A – Schutzwirkung von Sonnenschutzmitteln die Verwendung der PPD-Methode vor [24].

Bei der IPD-Methode wird die UV-A induzierte Pigmentierung innerhalb der ersten 15 Minuten nach der Exposition bestimmt. Hierbei kommt es in der Haut zu einer reversiblen Oxidation von Melaninvorstufen bei Bestrahlung mit UV-A und sichtbarem

Licht [19]. Hauptkritikpunkt an dieser Methode ist, dass dafür keine hellhäutigen Probanden, die auch besonderen UV-A Schutz benötigen würden, sondern nur Probanden dunkleren Hauttyps, herangezogen werden können, da bei den letzteren die plötzliche Melaninverfärbung nur schwer meßbar ist [20].

Bei der PPD-Methode [21] wird die Pigmentierung bestimmt, die nach 2 – 4 h nach der Bestrahlung mit UV-A stabil bleibt. Zur Bestimmung eines UV-Schutzfaktors nach der PPD-Methode benötigt man eine höhere UV-A – Dosis als bei der IPD – Methode und sie ist wesentlich besser reproduzierbar bzw. mit Probanden unterschiedlichen Hauttyps (II – IV) durchführbar [22]. Bei der PPD-Methode kommt es durch die Bestrahlung zu einer photochemischen Transformation des Melanins, die sich in einer gräulich-bläulichen Verfärbung der Haut zeigt. Der Unterschied zwischen der IPD- und PPD-Methode hinsichtlich der Pigmentierung sowie des Evaluierungszeitpunktes verdeutlicht Abb. 5.

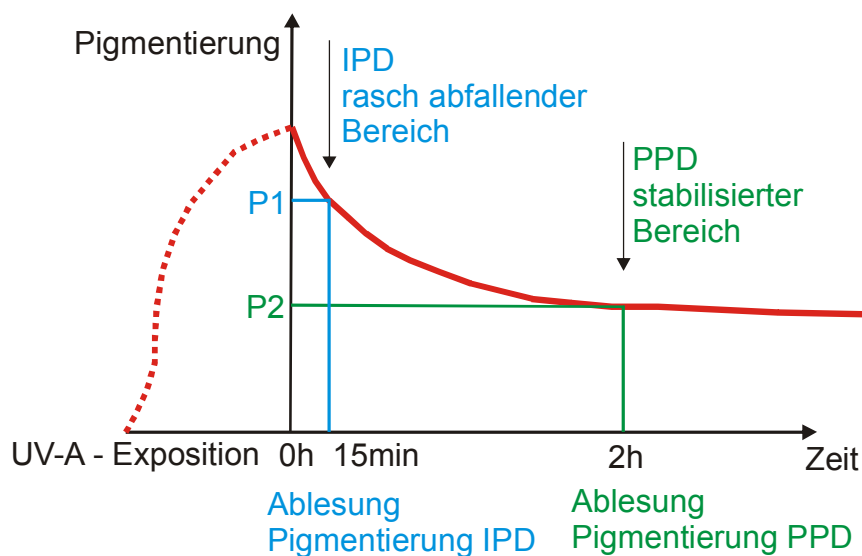


Abbildung 5. Unterscheidung zwischen IPD- und PPD-Methode hinsichtlich Pigmentierung und Evaluierungszeitpunkt (nach [42]).

Bei Anwendung einer in-vivo – Methode (IPD-, PPD-Methode) ergibt sich der UV-A – SF aus dem Quotienten zwischen minimaler, die Sofortpigmentierung auslösender UV-A – Dosis mit Sonnenschutzmittel (minimale sofortpigmentierungs Dosis bei geschützter Haut – MPD_p) und minimaler, die Sofortpigmentierung auslösender UV-A – Dosis ohne Sonnenschutzmittel (MPD_u).

$$UVA - SF = \frac{MPD_p [Jm^{-2}]}{MPD_u [Jm^{-2}]}$$

Unter einer MPD versteht man die kleinste UV-A Dosis, die eine wahrnehmbare persistente (anhaltende) Sofortpigmentierung 2 – 4 h nach der Exposition auf dem bestrahlten Hautareal erzeugt.

Der UV-A – Schutzfaktor für ein dermales Sonnenschutzmittel kann auch in-vitro bestimmt werden. In [23] wird dabei ein Verfahren beschrieben, das auf der Messung

des spektralen Transmissionsgrades des Sonnenschutzmittels, welches auf einem UV-durchlässigen Probenträger aufgebracht ist, basiert. Gemäß einer Empfehlung der EU-Kommission [24] sollen in Zukunft in-vitro Testmethoden für den Schutz sowohl vor UV-B als auch UV-A – Strahlung bevorzugt werden, da in vivo Testmethoden aus ethischer Sicht nicht unbedenklich sind.

Gemäß Empfehlung der EU-Kommission [24] soll der UV-A – SF eines Sonnenschutzmittels, bestimmt durch die PPD-Methode, zumindest $\frac{1}{3}$ des auf dem Produkt angegebenen Lichtschutzfaktors haben. Das heißt, ein Sonnenschutzmittel mit einem SPF von zwölf sollte einen UVA-SF von vier haben (auf der Verpackung oft auch angegeben als „PPD 4“).

4.4 Normative Aspekte zur Bestimmung des UV-A - Schutzfaktors

Die Standardisierung hinsichtlich der Bestimmung des UV-A – SF ist bei weitem nicht so fortgeschritten im Vergleich zur Bestimmung des SPF. Lediglich folgende Normen bzw. Standards die sich mit der Bestimmung des UV-A – SF befassen, sind zurzeit verfügbar:

- DIN 67502:2005, Charakterisierung der UVA-Schutzwirkung von dermalen Sonnenschutzmitteln durch Transmissionsmessungen unter Berücksichtigung des Lichtschutzfaktors.
Diese Norm befaßt sich mit der In-vitro – Bestimmung des UV-A – SF (In-vitro PPD) anhand der Messung der UV-Durchlässigkeit von auf einem UV-durchlässigen Probenträger aufgetragenen Sonnenschutzmitteln.
- Australian/New Zealand Standard AS/NZS 2604:1998 [16]: Beim australischen Standard wird die Durchlässigkeit der UV-A – Strahlung (begrenzt allerdings auf den Wellenlängenbereich von 320 nm – 360 nm) durch das mit einem Sonnenschutzmittel beschichtete Quarzplättchen gemessen. Werden zumindest 90 % der Strahlung zurückgehalten, so erfüllt das Produkt den Standard. Diese Methode ist leicht reproduzierbar allerdings nicht sehr realitätsnahe.
- PPD UVA Protection Factor Test Method [25]: Gemäß Empfehlung der EU-Kommission soll zur Beurteilung des Schutzes gegen UV-A – Strahlung die von der japanischen Kosmetikindustrie angewandte [26] und von der französischen Gesundheitsagentur Afssaps geänderte PPD-Methode sowie die Bestimmung der kritischen Wellenlänge angewandt werden. Diese Testverfahren wurden dem Europäischen Komitee für Normung zur Erarbeitung europäischer Normen in diesem Bereich vorgelegt.

4.5 Kritische Wellenlänge

Unter der kritischen Wellenlänge versteht man jene Wellenlänge, bei der die Fläche unter der integrierten Extinktionskurve beginnend bei 290 nm einem 90%-igen Absorptionsintegral von 290 nm bis 400 nm entspricht (d. h. bei der kritischen

Wellenlänge lässt das Sonnenschutzmittel 10 % der UV-Strahlung durch). Die kritische Wellenlänge wird in der Praxis mittels in-vitro – Methode spektrophotometrisch bestimmt und wird mathematisch durch nachfolgende Gleichung beschrieben:

$$0,9 = \frac{\int_{290}^{\lambda_c} \text{Log}_{10} \text{MPF}_{\lambda}}{\int_{290}^{\lambda_c} \text{Log}_{10} \text{MPF}_{\lambda}}$$

λ_c kritische Wellenlänge

MPF_{λ} Monochromatischer Schutzfaktor (Monochromatic Protection Factor)

Gemäß Empfehlung der EU-Kommission [24] sollte die Mindestwirksamkeit eines Sonnenschutzmittels durch eine kritische Wellenlänge von zumindest 370 nm charakterisiert sein. Je höher die kritische Wellenlänge eines Sonnenschutzmittels ist, desto besser schützt es vor UV-A – Strahlung.

5 Arten und Zusammensetzung von Sonnenschutzmittel

Oberflächlich angewandte Sonnenschutzmittel sind in unterschiedlichen Formen erhältlich, wie beispielsweise als Creme, Gel, Milch, Öl, Mousse, Lotion, Spray oder Sticks (für Lippen). Diese beinhalten aktive Inhaltsstoffe, die selektiv UV-Strahlung absorbieren, reflektieren und streuen. Die aktiven Inhaltsstoffe sind dabei in einem Binde- bzw. Lösungsmittel verteilt.

Die Verweildauer des Sonnenschutzmittels auf der Haut hängt wesentlich von der Form des Sonnenschutzmittels ab. Hydrophile, wasserlösliche chemische Sonnenschutzmittel verlieren beim Schwitzen sehr rasch ihre Schutzwirkung, da sie auf der Haut weggewaschen werden. Um wasserfeste Sonnenschutzmittel mit einem hohen Schutzfaktor zu kreieren, bedient man sich einer Öl-in-Wasser Emulsion. Dabei werden lipophile, wasserunlösliche UV-Filter in einer hoch angereicherten Ölphase emulgiert. Diese Art von Sonnenschutzmittel verbleibt nicht direkt auf der Hautoberfläche, sondern diffundiert in das stratum corneum (Hornschicht).

Gute Sonnenschutzmittel bestehen aus einem Mix von bis zu 6 aktiven Inhaltsstoffen, wobei sowohl organische als auch physikalische UV-Filter enthalten sind. Je nach gewähltem Produkt verbleibt das Sonnenschutzmittel direkt an der Hautoberfläche oder dringt in das stratum corneum ein. Das Sonnenschutzmittel sollte keinesfalls in tiefere Hautschichten eindringen, da es ansonsten negative Nebeneffekte verursachen kann. Eine kanzerogene Wirkung von organischen Bestandteilen, sollten sie in die Blutbahn gelangen, sind nicht 100 % auszuschließen, was auch ein Grund ist, dass man bei Kleinkindern, die eine dünnere Haut haben als Erwachsene, eher physikalische und keine chemischen Sonnenschutzmittel verwenden sollte.

5.1 Chemische UV-Filter (Organische Filter)

Zurzeit finden in oberflächlichen Sonnenschutzmitteln sieben unterschiedliche Hauptgruppen an organischen UV-Filtern Anwendung. Gemeinsam ist diesen sieben Gruppen, dass es sich dabei um organische Verbindungen handelt, die zumindest einen aromatischen Ring sowie eine konjugierten Doppelbindung beinhalten (siehe Abb. 6). Eine Vielzahl an weiteren chemischen Filtern leitet sich von diesen sieben Hauptgruppen ab. Bei den chemischen UV-Filtern handelt es sich meist um farb- und geruchslose organische Verbindungen (organische UV-Filter).

Die Wirkungsweise der chemischen UV-Filter wurde bereits in Kapitel 3 erläutert. Chemische UV-Filter können sowohl als UV-A als auch als UV-B – Filter eingesetzt werden, wie Tabelle 2 zeigt. In Europa werden bevorzugt folgende Substanzen als UV-A – Filter verwendet: Oxybenzon, Parsol 1789, Mexoryl SX und Mexoryl XL (Mexoryl SX und XL: Patent von L'Oréal). Diese absorbieren hauptsächlich im Wellenlängenbereich von 320 nm – 360 nm und gehören zur Gruppe der Benzophenone, Anthranilate und Dibenzoylmethane.

Als UV-B – Filter dienen hauptsächlich Salizylate, Kampferderivate, Zimtsäureester sowie Paraaminobenzoessäureester. Diese absorbieren im Bereich von 290 nm – 320 nm [27].

Da durch einen einzelnen chemischen UV-Schutzfilter kein vollständiger Schutz über das gesamte UV-Spektrum realisiert werden kann, werden in Sonnenschutzmittel immer verschieden Filter, auch physikalische und chemische, miteinander kombiniert. Moderne Breitspektrumsonnenschutzmittel enthalten UV-A - und UV-B – Filter sowie zusätzlich mineralische Nanopigmente, um eine optimale Photoprotektion zu gewährleisten [14]

Die Effektivität der chemischen UV-Filter wird durch den Extinktionskoeffizienten ε ausgedrückt. Ein UV-Filter mit einem hohen Extinktionskoeffizienten absorbiert die Energie der UV-Strahlung wesentlich effektiver als ein UV-Filter mit einem niedrigen Extinktionskoeffizienten. Die Wirkungsweise eines chemischen UV-Filters hängt auch vom Lösungsmittel ab, in dem der UV-Filter gelöst bzw. emulgiert ist. So kann sich bei manchen chemischen UV-Filtern die Wellenlänge, bei der der Extinktionskoeffizient ε sein Maximum erreicht, verschieben, je nachdem ob sich der chemische UV-Filter in einer polaren bzw. unpolaren Lösung befindet (siehe auch Tabelle 2).

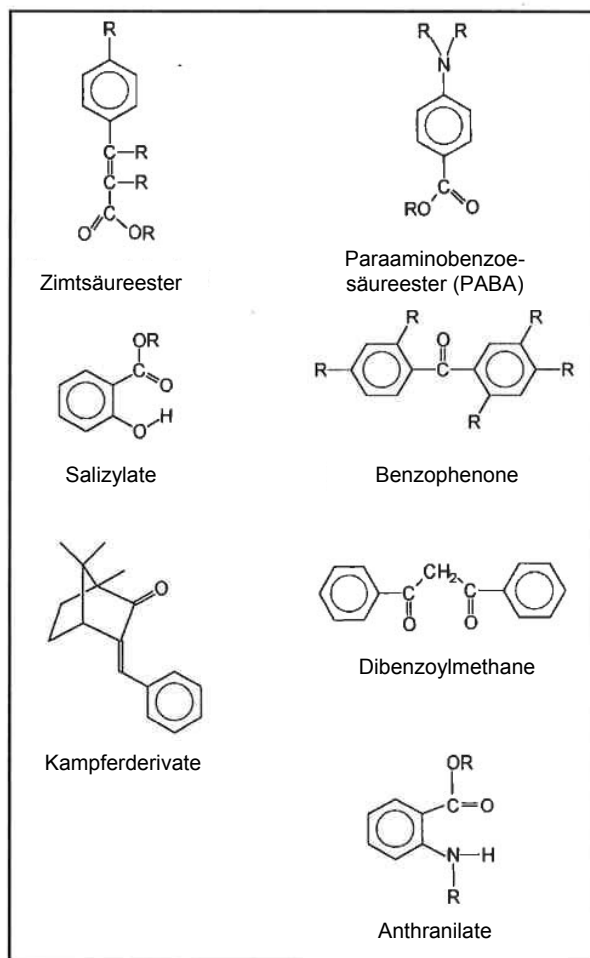


Abbildung 6. Die chemische Struktur der sieben Hauptgruppen der chemischen UV-Filter

Tabelle 2. Beispiele von chemischen UV-Filtern mit Angabe des Extinktionskoeffizienten ϵ sowie der Wellenlänge bei der die größte Absorption statt findet [27].

UV-Filter	$\lambda_{1\max}$ unpolare Lösung	$\lambda_{2\max}$ polare Lösung	ϵ
UV-B – Absorber:			
PABA	293	266	13600
Octylsalizylate	308	306	4900
Ethylhexyl p-methoxyzimtsäureester	289	312	24200
UV-A – Absorber:			
Dioxybenzon	352	326	9400
Oxybenzon	329	321	9300
Menthylanthranilat	334	336	5600
Butylmethoxydibenzoylmethan	351	360	31000

Da photochemische Reaktionen nach UV-Exposition der chemischen UV-Filter zu molekularen Veränderungen und Verlust der Schutzwirkung des Filters führen können, ist die Photostabilität eines Filters besonders wichtig. Neue Filter wie Mexoryl SX, Mexoryl XL (beides Kampferderivate) und Tinosorb (Patent von Ciba) verfügen über eine ausgezeichnete Photostabilität. Diese Filter behalten ihren SPF

selbst bei langandauernder UV-Exposition bei. Einige ältere chemische UV-Filter wie z.B. Octyldimethyl-PABA und Avobenzon sind hingegen photolabil, sie verlieren bei UV-Exposition teilweise ihre Schutzwirkung. Bei Avobenzon wurde in Tests ein 36 %iger Verlust der Schutzwirkung nachgewiesen. Photolabile UV-Filter können aufgrund ihrer photochemischen Veränderung bei UV-Exposition zu Hautirritationen wie photoallergischen Reaktionen führen. PABAs beispielsweise werden heute in Sonnenschutzmitteln nicht mehr eingesetzt, da sie eine Reihe von allergischen Reaktionen auslösen können.

Da Zimtsäureester ihr Absorptionsmaximum bei ca. 308 nm haben (Maximum der erythemwirksamen Strahlung im Sonnenspektrum) und einen hohen Extinktionskoeffizienten haben (siehe Tabelle 2), werden sie bevorzugt in modernen Sonnenschutzmitteln eingesetzt. Salizylate finden hingegen in modernen Sonnenschutzmitteln kaum Verwendung, da sie nur über einen geringen Extinktionskoeffizienten verfügen. Dibenzoylmethane verfügen zwar über einen sehr hohen Extinktionskoeffizienten, sind aber photolabil und empfindlich gegenüber Hitze und Licht, so dass sie in modernen Sonnenschutzmitteln kaum Verwendung finden. Vertreter der Kampferderivate, wie Mexoryl SX bzw. XL (beide von L'Oréal patentiert) werden aufgrund ihrer Eigenschaften (z.B. Photostabilität) in modernen Sonnenschutzmitteln vermehrt eingesetzt [28].

Bei organischen UV-Filtern ist es auch wichtig, dass diese nicht in die Haut diffundieren und über das Blut weiterverbreitet werden, da es sich dabei um potentielle karzinogene Stoffe handelt.

5.2 Physikalische UV-Filter

Mineralische Pigmente, die Strahlung durch Absorption, Reflexion und Streuung abschwächen, dienen als physikalische UV-Filter. Die wichtigsten Vertreter sind:

- Titantioxid (TiO_2)
- Zinkoxid (ZnO)
- Eisenoxid (FeO)
- Calciumkarbonat (CaCO_3)
- Kaolin
- Talkum

Diese werden als Suspension eines Pigmentpulvers in Sonnenschutzmitteln verwendet. In modernen Sonnenschutzmitteln finden hauptsächlich Titan- und Zinkoxide der Partikelgröße 20 nm – 100 nm Anwendung. Diese Mikropigmente haben in den letzten Jahren sehr an Akzeptanz gewonnen, da sie

- Weder phototoxische noch photoallergische Hautreaktionen verursachen
- In Kombination mit chemischen UV-Filtern einen sehr effektiven Schutz sowohl gegenüber UV-A als auch UV-B bieten.
- Photostabil sind, und somit auch für Kinder unbedenklich sind
- Sichtbares Licht nicht reflektieren und somit kosmetisch akzeptabel sind

In früheren Jahren, als physikalische UV-Filter noch in größeren Partikelgrößen in Sonnenschutzmittel eingesetzt wurden, hatten diese oft mit Akzeptanzproblem zu kämpfen, da aufgrund der Partikelgröße das sichtbare Licht reflektiert wurde (weiße Schicht auf Haut), diese Mittel comedogen waren (verstopften die Hautporen), in relativ großer Schichtdicke aufgetragen werden mußten und in der Sonne verronnen. Diese Probleme wurden jedoch bei den neueren kleineren Partikelgrößen behoben.

Sowohl bei Titandioxid als auch bei Zinkoxid handelt es sich um Breitbandfilter die UV-Strahlung über einen breiten Wellenlängenbereich abschwächen. Die größte Schutzwirkung entfaltet Titandioxid im UV-B, während die größte Effektivität von Zinkoxid im UV-A liegt.

Für die praktische Anwendung ist es wichtig, ein agglomerieren der Mikropartikel im Sonnenschutzmittel zu verhindern, da sich bei größerer Partikelgröße die Eigenschaften der mineralischen Pigmente verändern und sichtbares Licht wieder reflektiert wird.

Andere physikalische UV-Filter wie Eisenoxid spielen in der Praxis eher eine untergeordnete Rolle, da sie nicht so effektiv wie Titandioxid oder Zinkoxid sind und auch, aufgrund der Farbe, zu Akzeptanzproblemen führen. Eisenoxid findet aber in Verbindung mit TiO_2 und ZnO bei Lippenstiften mit hohem UV-Schutz Verwendung.

5.3 Zusätzliche Inhaltsstoffe von Sonnenschutzmittel

Moderne Sonnenschutzmittel schützen die Haut nicht nur durch Absorption, Reflexion und Streuung von UV-Strahlung, sondern sie vermindern auch gleichzeitig negative Effekte durch in die Haut eindringende UV-Strahlung bzw. führen zu erhöhten Reparaturraten der entsprechenden Schäden. Dabei können dem Sonnenschutzmittel ergänzend - neben den klassischen organischen bzw. physikalischen UV-Filtern - Antioxidantien und Reparaturenzyme beigefügt werden.

Beifügung von Reparaturenzymen:

UV-Strahlung kann die DNA im Zellkern auf direktem (UV-B) oder indirektem Weg (UV-A) schädigen. Der wohl häufigste bzw. wichtigste UV-induzierte DNA-Schaden ist die Bildung von Cyclobutan-Bipyrimidindimeren (CPD). Der Körper verfügt über ein enzymatisches Reparatursystem, das derartige Schäden erkennt und repariert (Exzisionsreparatur).

T4 endonuclease V ist ein bakterielles DNA – Reparaturenzym, das spezifisch CPDs erkennt und die Exzisionsreparatur der schadhafte DNA – Stelle initiiert. In Studien konnte gezeigt werden, dass durch die Verabreichung von T4 endonuclease V in Form einer Hautcreme erhöhte Reparaturraten von UV-induzierten DNA – Schäden nachgewiesen werden konnte. Weiters wurde gezeigt, dass dadurch bei Xeroderma-Pigmentosum – Patienten (besitzen keine funktionierende Reparaturmechanismen für DNA – Schäden) die Entstehungsrate von Hautkrebs gesenkt werden konnte [29,30].

Beifügung von Antioxidantien:

Reaktive Sauerstoff-Spezies (ROS), wie Singlet-Sauerstoff oder Hydroxyl-Radikale, werden durch einwirken von UV-A – Strahlung in der Haut gebildet und verursachen oxidativen Streß in den Hautzellen. ROS können die DNA, Proteine und die Zellmembran angreifen und schädigen. Körperzellen verfügen zwar teilweise über Enzyme, die bei derartigen Angriffen als Antioxidant bzw. Radikalfänger wirken, doch deren Kapazität ist begrenzt. Durch die oberflächliche Verwendung von Antioxidantien, wie Vitamin C, Vitamin E oder Flavonoiden, scheint es jedoch möglich den oxidativen Streß für die Hautzellen zu reduzieren und einen zusätzlichen UV-Schutz aufzubauen. Allerdings muß bei oberflächlicher Verabreichung von Antioxidantien auf die richtige Dosis geachtet werden, da manche Antioxidantien in hoher Dosis toxische Nebeneffekte auslösen können [2].

Antioxidantien wie Karotinoide, Flavonoide und Vitamine werden in bestimmten Sonnenschutzmitteln (in den Ladival® – Produkten von Stada) auch als Schutz vor Infrarot-A – Strahlung eingesetzt, da gemäß Hersteller Infrarot-A – Strahlung vorzeitige Hautalterung sowie Zellschäden aufgrund von oxidativen Stress verursachen kann [43]. Die Forschungsarbeiten [44], die zu diesen Ergebnissen geführt haben sind allerdings umstritten, da dabei Bestrahlungsstärken eingesetzt wurden, die wesentlich höher sind als in der Sonne am Äquator zur Mittagszeit und derart hohe Bestrahlungsstärken im natürlichen Sonnenlicht nicht auftreten.

6 Mögliche Nebenwirkungen von Sonnenschutzmittel

Oberflächliche Sonnenschutzmittel bestehen aus einer Vielzahl von Inhaltsstoffen:

- organische/physikalische UV-Filter
- Lösungsmittel
- Emulgatoren
- Parfümstoffe
- Konservierungsmittel
- Weichmacher
- Stabilisatoren
- ...

Jeder dieser Inhaltsstoffe hat das Potential, Nebenwirkungen in der Haut auszulösen. Man unterscheidet dabei zwischen folgenden vier schädlichen Hautreaktionen:

1. Nichtimmunologische Kontaktirritation

Die Wahrscheinlichkeit einer Kontaktirritation nimmt mit dem SPF zu, da Sonnenschutzmittel mit einem hohen SPF über eine Vielzahl von aktiven Inhaltsstoffen in relativ hoher Konzentration verfügen. Über 90 % aller kosmetischen Nebeneffekte gehören zu dieser Kategorie, allerdings ist in 50 % der Fälle kein objektives Zeichen einer Dermatitis zu erkennen und werden nur subjektiv vom jeweiligen Anwender „gefühlte“.

2. Nichtimmunologische Phototoxizität

Wird die aufgenommene Energie vom Sonnenschutzmittel nicht in Form von Wärme abgegeben, können in der Haut schädliche photobiologische bzw. photochemische Reaktionen in Gang gesetzt werden. Es kann zu einer Photoanregung des aktiven UV-Filters kommen, so daß der UV-Filter in einem angeregten Singlet- bzw. Triplet-Zustand vorliegt. Diese aktiven Zustände können zu einer Schädigung von Zellmembranen, DNA, Enzymen oder weiteren epidermalen Bestandteilen führen. Weiters kann es zur Bildung von ROS kommen, die oxidativen Streß in den epidermalen Zellen verursachen können. Bei direkter Weitergabe der Energie vom UV-Filter auf bestimmte epidermale Zellen ist auch mit einer verstärkten Sonnenbrandreaktion zu rechnen.

3. Kontaktallergie

Bei der Kontaktallergie reicht der bloße Kontakt zwischen Sonnenschutzmittel und Haut ohne UV-Exposition aus, um eine Allergie (Dermatitis) zu verursachen. Manche chemische UV-Filter fungieren dabei als Hapten und beeinflussen so die Aktivität der Langerhans'schen Zellen (Immunsystem) bzw. die Bildung von Antigenen.

4. Photoallergie

Für die Auslösung einer Photoallergie ist zumeist UV-A – Strahlung verantwortlich. Dabei wird analog der Kontaktallergie das Immunsystem beeinflusst, die Dermatitis wird dabei ausgelöst durch einen chemischen UV-Filter der nach Bestrahlung mit UV als Sensibilisator wirkt [4].

7 Oberflächliche Sonnenschutzmittel und Hautkrebs

Manche Studien machen die Verwendung von oberflächlichen Sonnenschutzmitteln für die Erhöhung der Melanomrate (ca. 1,5 fach) verantwortlich [4]. Mögliche Erklärungen dafür sind:

- Verändertes Verhalten in der Sonne: Durch die Benutzung von Sonnenschutzmittel wiegen sich die Anwender in einer falschen Sicherheit und verlängern dadurch ihren Aufenthalt in der Sonne. Dies führt zu einer Erhöhung des Hautkrebsrisikos [8].
- Verminderte Vitamin D – Produktion: Da Sonnenschutzmittel UV-B absorbieren, vermindern Sonnenschutzmittel die Produktion von Vitamin D im Körper, das mit einer verringerten Inzidenzrate für bestimmte Krebsarten, inklusive maligne Melanome, in Verbindung gebracht wird [4].
- Erhöhte UV-A Exposition, da Sonnenschutzmittel nur hauptsächlich vor UV-B schützen [4]
- Unterdrückung des Immunsystems: Bereits suberythemale UV-Dosen, die durch das Sonnenschutzmittel in die Haut eindringen, können das Immunsystem beeinträchtigen und so die Hautkrebsentstehung fördern [4].

Auch kann man davon ausgehen, dass immer irgendwo auf dem Körper kleine Stellen auf der Haut unzureichend oder nicht mit Sonnenschutzmittel eingeschmiert werden und die UV Exposition dieser reicht aus, um das Immunsystem des Körpers zu beeinträchtigen.

Zusammenfassend muss gesagt werden, dass die Eignung von Sonnenschutzmittel zum Schutz vor malignen Melanomen nach wie vor sehr kontroversiell diskutiert wird: Während einige Studien eine Verringerung des Melanomrisikos zeigen [31, 32], erhöht sich nach anderen Studien sogar das Melanomrisiko bei der Verwendung von Sonnenschutzmittel [33, 34]. Es ist jedoch klar, dass die Verwendung eines Sonnenschutzmittels keinen 100 %igen UV-Schutz und damit auch Melanomschutz bietet. Um das Risiko so weit wie möglich zu senken, sollte die Expositionsdauer reduziert werden und ein Sonnenschutzmittel mit ausreichendem UV-A - und UV-B – Schutz verwendet werden (SPF 30, UV-A – SF 10).

Studien, die die Verwendung von Sonnenschutzmittel in Zusammenhang mit nicht malignen Hautkrebs untersucht haben, kamen zu folgendem Ergebnis:

- Eine regelmäßige Anwendung von Sonnenschutzmitteln kann das Risiko für das Auftreten von Spinaliomen signifikant herabsetzen [35, 8]
- Die Wirkung im Hinblick auf die Verhinderung von Basaliomen ist gering [36] oder konnte nicht nachgewiesen werden [35].

8 Zulassung von Sonnenschutzmitteln in Europa und weitere Prüfverfahren

In Europa werden Sonnenschutzmittel gemäß Definition der Europäischen Union als Kosmetika angesehen [38]. In der dritten Novelle der EEC Richtlinie vom 28. November 1983 [39] ist eine Liste von UV-Filtern enthalten, die in Kosmetikprodukten verwendet werden dürfen. Diese Liste gliederte sich ursprünglich in zwei Teile: UV-Filter die uneingeschränkt zugelassen sind und UV-Filter, die einer provisorischen Zulassung unterliegen. Die in dieser Liste provisorisch zugelassenen UV-Filter werden mittlerweile allerdings von der Europäischen Union nicht mehr akzeptiert. In der Liste mit den zugelassenen UV-Filtern befindet sich neben den Referenznummern gemäß COLIPA und EU auch die chemische Nomenklatur des Sonnenschutzmittels gemäß der International Nomenclature for Cosmetic Ingredients (INCI), die maximal zulässige Konzentration des UV-Filters in %, entsprechende Warnhinweise sowie der Handelsname des UV-Filters. Auszugsweise ist die entsprechende Liste in Tabelle 3 für einen organischen sowie physikalischen UV-Filter dargestellt.

Tabelle 3. UV-Filter, die in Kosmetikprodukten enthalten sein dürfen (Auszug)

COLIPA Ref. No.	EU Ref. No.	INCI Name	Maximal zulässige Konzentration (%)	Andere Einschränkungen	Warnhinweise die am Sonnenschutzmittel aufgedruckt sein müssen	Handelsname, Trivialname
S 71	7	Terephthalylidene dicamphorsulphonische Säure	10 (als Säure)			Mexoryl SX, ecamsule
S 75	27	Titandioxid	25			Eusolex T-2000

Wird ein neuer UV-Filter entdeckt, so muß ein mehrstufiger Prozeß eingehalten werden, bis er in diese Liste aufgenommen werden kann (siehe [40]).

Im September 2006 wurde von der EU-Kommission eine Empfehlung über die Wirksamkeit von Sonnenschutzmitteln und diesbezügliche Herstellerangaben herausgegeben [24]. Diese Empfehlung zielt ab auf:

- Eine verbesserte Kennzeichnung von Sonnenschutzmittel (z.B. keine irreführenden Herstellerangaben wie „100 %iger UV-Schutz“ oder eine einheitliche Kennzeichnung für UV-A – SF basierend auf einem standardisierten Testverfahren)
- Der Definition einer Mindestwirksamkeit des Sonnenschutzmittels gegen UV-A ($\frac{1}{3}$ des SPF) - und UV-B – Strahlung (zumindest SPF 6) gemäß Tabelle 4.
- Testmethoden zu empfehlen, nach denen der SPF sowie der UV-A – SF bestimmt werden sollen, zur besseren Vergleichbarkeit von Sonnenschutzmitteln.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Auswahl eines geeigneten Sonnenschutzmittels ist dessen Verhalten gegenüber Wasser. Vor allem Personen die schwitzen oder Wassersport betreiben benötigen ein gut haftendes, durch Schweiß und Wasser schwer abwaschbares Sonnenschutzmittel. Zur Überprüfung der Wasserbeständigkeit eines Sonnenschutzmittels gibt es in Europa eine von der COLIPA entwickelte Testmethode [41]. Gemäß dieser in vivo - Methode muss das Sonnenschutzmittel nach einer Wassereinwirkung von zweimal 20 Minuten zumindest noch 50 % seines ursprünglichen LSF besitzen um die Bezeichnung „wasserfest“ tragen zu dürfen.

Testmethoden zur Evaluierung der Wasserbeständigkeit von Sonnenschutzmittel sind unter anderem auch im Australischen/Neuseeländischen Standard [16] sowie Südafrikanischen Standard [17] angegeben. Da sich die einzelnen Testmethoden jedoch voneinander unterscheiden (z. B. in Form von unterschiedlichen Versuchsbedingungen wie Einwirkungsdauer des Wassers, Art des Wassers, Art der Einwirkung, Temperatur des Wassers,...) ist kein direkter Vergleich von

Sonnenschutzmittel hinsichtlich ihrer Wasserbeständigkeit möglich, wenn sie nach unterschiedlichen Standards (Testmethoden) evaluiert wurden.

Tabelle 4. Empfohlene zukünftige Etikettierung für Sonnenschutzmittel gemäß Empfehlung der EU-Kommission um die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Produkten zu gewährleisten.

Auf dem Etikett genannte Kategorie	Auf dem Etikett genannter Lichtschutzfaktor	Gemessener Lichtschutzfaktor	Empfohlener Mindestschutzfaktor gegen UVA-Strahlen	Empfohlene kritische Mindestwellenlänge
„niedriges Schutzniveau“	„6“	6-9,9	1/3 des auf dem Produkt angegebenen Lichtschutzfaktors	370 nm
	„10“	10-14,9		
„mittleres Schutzniveau“	„15“	15-19,9		
	„20“	20-24,9		
	„25“	25-29,9		
„hohes Schutzniveau“	„30“	30-49,9		
	„50“	50-59,9		
„sehr hohes Schutzniveau“	„50+“	60 ≤		

9 Praktische Anwendung von Sonnenschutzmittel

Um ein oberflächliches Sonnenschutzmittel in der Praxis korrekt anzuwenden, sollten nachfolgende Punkte beachtet werden:

- **Ausreichende Menge an Sonnenschutzmittel auftragen**

Um den am Sonnenschutzmittel angegebenen Schutzfaktor zu haben, ist es notwendig eine ausreichende Menge auf die Haut aufzutragen. Der SPF des Sonnenschutzmittels wird bei einer Schichtdicke von 2 mg cm^{-2} bestimmt, in der Praxis werden aber oft nur $0,5 - 1,5 \text{ mg cm}^{-2}$ aufgetragen. In der Praxis haben die meisten Menschen aufgrund der zu geringen Applikation von Sonnenschutzmittel einen effektiven Schutzfaktor der nur $\frac{1}{3}$ des SPF beträgt [37]. Bei der Anwendung des Sonnenschutzmittels am ganzen Körper (Hautoberfläche ca. 2 m^2) entspricht dies einer Menge von ca. 40 g oder fast einem Viertel einer handelsüblichen Sonnenschutzmittel-Flasche mit einem Inhalt von 200 ml.

- **Vollständiges und gleichmäßiges Eincremen aller freien Hautflächen**

Um einen vollständigen Schutz zu gewährleisten, muß das Sonnenschutzmittel gleichmäßig auf alle freien Hautflächen aufgetragen werden um einen gleichmäßigen Schutz zu erreichen. Dabei nicht auf Körperteile wie Ohren oder Lippen vergessen.

- **Rechtzeitige und wiederholte Anwendung von Sonnenschutzmittel**

Das Sonnenschutzmittel sollte 20 min vor der UV-Exposition auf der Haut aufgetragen werden, damit sich die chemischen Inhaltsstoffe auf der Hornschicht der Haut verteilen und ihre Wirkung entfalten können. Bei längerem Aufenthalt in der Sonne sollte man regelmäßig wiederholt Sonnenschutzmittel auftragen. Die wiederholte Applikation ist besonders wichtig bei starkem Schwitzen bzw. nach

dem baden. Durch wiederholte Anwendung erhöht sich aber der Schutzfaktor bzw. die Schutzzeit nicht.

- **Keine unverhältnismäßige Verlängerung der Expositionszeit**

Bei der Verwendung von Sonnenschutzmitteln besteht die Gefahr, dass der Anwender seine Expositionsdauer ausdehnt. Um ein erhöhtes Hautkrebsrisiko zu vermeiden, sollte daher auch bei Anwendung von Sonnenschutzmitteln die Expositionsdauer gegenüber der Eigenschutzzeit der Haut nicht unverhältnismäßig lange verlängert werden.

- **Auswahl von geeigneten Sonnenschutzmitteln**

Sonnenschutzmittel mit ausreichend hohem SPF (30) und UV-A – SF (10) verwenden. Bei der Auswahl von Sonnenschutzmitteln sollte auch darauf geachtet werden, dass die Lichtschutzfaktoren korrekt angegeben sind und daß die verwendeten chemischen UV-Filter photostabil (z. B. Mexoryl SX, Mexoryl XL, Tinosorb) sind.

- **Haltbarkeit des Sonnenschutzmittels beachten**

Die Haltbarkeit von Sonnenschutzmitteln ist begrenzt, deswegen sollte das Ablaufdatum beachtet werden.

Bei Sonnenschutzmitteln handelt es sich sehr oft um Wasser-in-Öl – bzw. Öl-in-Wasser – Emulsionen. Bei langer bzw. unsachgemäßer Lagerung (z. B. Hitze) des Sonnenschutzmittels kann es zu einer Entmischung der beiden Phasen kommen, so dass der UV-Schutz nicht mehr gegeben ist. Weiters kann es auch zu einem Wirkungsverlust von im Sonnenschutzmittel vorhandenen Ölen und Vitaminen kommen [45].

Das Sonnenschutzmittel sollte jedenfalls nicht großer Hitze ausgesetzt werden. Ungeöffnet sind Sonnenschutzmittel, auf denen kein Verfallsdatum angegeben ist, mindestens 30 Monate lang haltbar. Gemäß der neuen europaweiten Kennzeichnungsvorschrift muss auf allen Kosmetika, die länger als 30 Monate haltbar sind, eine Frist angegeben werden, wie lange diese nach dem Öffnen bei sachgemäßem Gebrauch haltbar sind. Dargestellt wird dabei das Symbol eines geöffneten Cremetiegels und die Zeitangabe in Monaten (z. B. 6 M) [46].

- **Sonnenschutzmittel mit anderen UV-Schutzmaßnahmen kombinieren**

Für Arbeiten im Freien ist es sinnvoll, Sonnenschutzmittel mit anderen Schutzmaßnahmen zu kombinieren. Dies sind einerseits persönliche Schutzmaßnahmen wie Bekleidung mit entsprechendem UV-Schutz, UV-Schutzbrillen, Kopfbedeckung, aber auch technische (z. B. Abschattung des Arbeitsplatzes) sowie organisatorische Schutzmaßnahmen (z. B. zur Mittagszeit in Innenräumen arbeiten).

10 Literaturverzeichnis

- [1] Shaath NA, Evolution of modern sunscreen chemicals. In: Lowe NJ, Pathak M, Shaath NA, editors, Sunscreens, development, evaluation and regulatory aspects. 2nd edition, New York, Marcel Dekker 1997, 3 – 35
- [2] Verschooten L, Claerhout S, Van Laethem A, Agostinis P, Garmyn M, New Strategies of Photoprotection. Photochem. Photobiol. 82, 2006, 1016 - 1023
- [3] Fritsch P, Dermatologie Venerologie. 2. Auflage, Springer, Berlin 2004, 10
- [4] Pathak MA, Fitzpatrick TB, Nghiem P, Aghassi DS, Chapter 248 – Sun Protective Agents: Formulations, Effects and Side Effects. In: Fitzpatrick's Dermatology in General Medicine CD-Rom, 5th edition, McGraw-Hill 1999
- [5] Gasparro FP, Brown D, Diffey BL, Knowland JS, Reeve V, Chapter 247 - Sun Protective Agents: Formulations, Effects and Side Effects. In: Fitzpatrick's Dermatology in General Medicine, 6th edition, McGraw-Hill 2003, 2344 - 2352
- [6] Martincigh BS, Allen JM, Allen SK, Chapter 2 – Sunscreens: The Molecules and their Photochemistry. In: Gasparro FP, editor, Sunscreen Photobiology: Molecular, Cellular and Physiological Aspects. Berlin, Springer 1997, 11 – 45
- [7] International Agency for Research on Cancer (IARC), World Health Organisation (WHO), IARC Handbooks of Cancer Prevention, Volume 5 – Sunscreens, IARC, Lyon 2001, 5
- [8] Siekmann H, Aengenvoort B, BGIA-Report 3/2006: Eignung von Sonnenschutzmittel zur Hautkrebsprävention. HVBG, BGIA, Sankt Augustin 2006, 23
- [9] ÖNORM S 1130, Sonnenschutzmittel – Bestimmung des Lichtschutzfaktors im Labor, 1999
- [10] DIN 5031-10, Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik, Teil 10: Photobiologisch wirksame Strahlung – Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren, 2000
- [11] COLIPA, JCIA, CTFA, CTFA Südafrika, International Sun Protection Factor (SPF) Test Method, 2006
- [12] WHO, Global Solar UV Index: A Practical Guide, WHO, 2002
- [13] U.S. Food and Drug Administration (FDA): Sunscreen drug products for over-the-counter human use. Federal Register, 43, 38206 – 38269, 1978
- [14] Hönigsmann H, So wirken topische Lichtschutzmittel, Hautnah, 3. Jahrgang Nr. 3, 2004, www.aerztewoche.at

- [15] Deutsches Institut für Normung (DIN) 67501:1999, Experimentelle Bewertung des Erythemschutzes von externen Sonnenschutzmittel für die menschliche Haut
- [16] Australian/New Zealand Standard AS/NZS 2604:1998, Sunscreen products – Evaluation and classification
- [17] South African Bureau of Standards 1557:2002, Specifications Sunscreen products
- [18] ÖNORM S 1130:1999, Sonnenschutzmittel – Bestimmung des Lichtschutzfaktors im Labor
- [19] Kaidbey KH, Barnes A, Determination of UVA protection factors by means of immediate pigment darkening in normal skin. *J Am Acad Dermatol* 1991, 25, 262 – 266
- [20] Agin PP, Stanfield JW, Letter. *J Am Acad Dermatol*, 1992, 27, 136 – 137
- [21] Moyal D, Chardon A, Kollias N, Determination of UVA protection factors using the persistent pigment darkening (PPD) as the end point. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine* 16 (6), 2000, 245 - 249
- [22] Lowe NJ, An Overview of Ultraviolet Radiation, Sunscreens, and Photo-Induced Dermatoses. *Dermatologic Clinics* 24, 2006, 9 – 17
- [23] DIN 67502:2005, Charakterisierung der UVA-Schutzwirkung von dermalen Sonnenschutzmitteln durch Transmissionsmessungen unter Berücksichtigung des Lichtschutzfaktors
- [24] EU-Kommission, Empfehlung der Kommission über die Wirksamkeit von Sonnenschutzmitteln und diesbezügliche Herstellerangaben, Amtsblatt der Europäischen Union, 22.9.2006, 265/39 – 265/43
- [25] Afssap, testing of sunscreen products – PPD UVA Protection Factor Test Method, 2004
- [26] Japan Cosmetic Industry Association (JCIA), Measurement Standards for UVA Protection Efficacy, 1995
- [27] Shaath NA, The Chemistry of Sunscreens. In: Lowe NJ, Pathak M, Shaath NA, editors, Sunscreens, development, evaluation and regulatory aspects. 2nd edition, New York, Marcel Dekker 1997, 263 – 283
- [28] Persönliche Kommunikation mit Césarini JP
- [29] Yarosh DB, Canning MT, Teicher D, Brown DA, After sun reversal of DNA damage: Enhancing skin repair. *Mutat. Res.* 571, 2005, 57 – 64

- [30] Yarosh DB, Klein J, O'Connor A, Hawk J, Rafal E, Wolf P, Effect of topically applied T4 endonuclease V in liposomes on skin cancer in xeroderma pigmentosum: A randomised study. *Lancet* 357, 2001, 926 – 929
- [31] Holly EA, Aston DA, Cress RD, Ahn DK, Kristiansen JJ, Cutaneous melanoma in women. I. Exposure to sunlight, ability to tan, and other risk factors related to ultraviolet light. *Am. J. Epidemiol.* 141, 1995, 923 – 933
- [32] Gallagher RP, Rivers JK, Lee TK, Bajdik CD, McLean DI, Coldman AJ, Broad spectrum sunscreen use and the development of new nevi in white children: a randomized controlled trial. *JAMA* 283, 2000, 2955-2960
- [33] Westerdahl J, Olsson H, Masback A, Olsson H, Sunscreen use and malignant melanoma. *Int. J. Cancer* 87, 2000, 145 – 150
- [34] Autier P et al. Sunscreen use, wearing clothes, and number of nevi in 6- to 7-year-old European children. European Organization for Research and Treatment of Cancer, Melanoma Cooperative Group. *J. Natl. Cancer Institute* 90, 1998, 1873 – 1880
- [35] Green A et al. Daily sunscreen application and betacarotene supplementation in prevention of basal-cell and squamos-cell carcinomas of the skin: a randomized controlled trial. *Lancet* 354, 1999, 723-729
- [36] Kricke A et al. Does intermittent sun exposure cause basal cell carcinoma? A case controlled study in Western Australia. *Int. J. Cancer* 60, 1995, 489 – 494
- [37] Diffey BL, Sunscreens: use and misuse, In: Häder DP, Jori G, editors, *Sun Protection in Man*, Elsevier, 2001, 521 – 534
- [38] Official Journal of European Communities Number L262/170, 1976
- [39] Official Journal of European Communities Number L332/38, 1983
- [40] Mascotto RE, Regulatory Aspects of Sunscreens in Europe, In: Shaath NA, editor, *Sunscreens – Regulations and Commercial Development*, 3rd edition, Taylor & Francis 2005, 117-125
- [41] COLIPA (The European Cosmetic Toiletry and Perfumery Association), *Guidelines for Evaluating Sun Product Water Resistance*, 2005
- [42] La Roche-Posay, *Methoden zur Bestimmung des UVA-Schutzfaktors UVA-SF*
- [43] http://www.ladival.de/c/infrarot_a_schutzkomplex.pdf
- [44] Schroeder P, Krutmann J, Infrarot-A-induzierte biologische Wirkungen in der menschlichen Haut, Tagungsband Symposium Licht und Gesundheit, Technische Universität Berlin, Berlin 2006, S 25 – 26

[45]<http://www.oekotest.de/cgi/ot/otgs.cgi?suchtext=&doc=19687&pos=1&splits=0:1557:3550>

[46]<http://www.webheimat.at/aktiv/Rubrik-Gesundheit-und-Wellness/Archiv-Gesundheit-Wellness/Sonnencreme-Haltbarkeit.html>